

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

TĚSNÍCÍ UZÁVĚR ZÁSOBNÍKU

SEALING DISCHARGE OF A SILO

Student :

Bordovský Matěj

Vedoucí bakalářské práce :

Prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Matěj Bordovský**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R003 Dopravní stroje a manipulace s materiálem**
Téma: **Těsnící uzávěr zásobníku
Sealing Discharge of a Silo**

Zásady pro vypracování:

- 1) Rešerše k problematice uzávěrů zásobníku
- 2) Technologické výpočty
- 3) Konstruktivní řešení těsnícího uzávěru zásobníku
- 4) Pevnostní výpočty
- 5) Výkresová dokumentace

Seznam doporučené odborné literatury:

Zegzulka, J.: Mechanika sypkých hmot, Ostrava: Laboratoř sypkých hmot, VŠB-TUO, 2004
Jasáň, V.: Teória a stavba dopravníkov, Košice: TU Košice, Alfa Bratislava, 1984.
Peňat, Z.: Manipulace v hutích. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1992.
Fiala, J.: Strojnické tabulky. Praha: SNTL Praha, 1989.
Firemní literatura a potřebné normy
Metody měření a vyhodnocení měřených vzorků Laboratoře sypkých hmot, Ostrava: VŠB – TU OSTRAVA.
Polák, J., Pavliška, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: ES VŠB-TUO, 2001.
Polák, J., Bailotti, K., Pavliška, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení II. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003.
Polák, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení III. Ostrava: ES VŠB-TU Ostrava, 2005.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



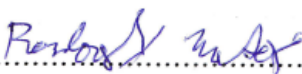

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....19.5.2014.....

..........
podpis studenta

Prohlašuji, že :

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/200 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 ods. 3) .
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 ods. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) .
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19.5.2014


.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce : Matěj Bordovský

Adresa trvalého pobytu autora práce : Paskovská 550/43, Ostrava-Hrabová, 720 00

Poděkování :

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské Prof. Ing. Jiřímu Zegzulkovi, CSc. za odborné rady, které jsem použil při vypracování této práce. Dále děkuji Ing. Davidu Žurovcovi, Ing. Janu Nečasovi, Ph.D. a doc. Ing. Zdeňku Kadlecovi, Ph.D. za odborné konzultace, které jsem rovněž použil k vypracování této práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu na vysoké škole.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BORDOVSKÝ, M. Těsnící uzávěr zásobníku, Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2014, 43 s. , Vedoucí práce : Prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc .

Bakalářská práce se zabývá návrhem těsnícího uzávěru zásobníku sypkých hmot. V zásobníku o objemu 3688 [l] bude uskladněn materiál ve formě dřevěných pelet.

V úvodní části je zpracována rešerše zabývající se konstrukcí zásobníků a druhy uzávěrů. V následující části je rozbor mechanicko–fyzikálních vlastností dřevěných pelet s následnými technologickými a pevnostními výpočty. V závěru bakalářské práce jsou obsaženy výrobní a sestavné výkresy uzávěru.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BORDOVSKÝ, M. Sealing discharge of a silo, Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical engineering, Institut of transport, 2014, 43 p. , Thesis head : Prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

The thesis is focused on the plan of sealing discharge of a silo of loose materials. In the 3688 litres silo the material is stored in the form of timber pellets.

In the introduction, the research is worked out treating the construction of the silo and the types of discharge. In the following part the analysis of the mechanical-physical qualities of timber pellets with resulting technological and strength computations can be found. In the conclusion of the thesis discharge drawings of producing and commissioning are included.

Obsah

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	8
1. Úvod.....	11
2. Zásobníky a uzávěry	11
2.1. Zásobníky	11
2.2. Uzávěry	13
2.2.1. Motýlové klapky	13
2.2.2. Tyčové uzávěry	14
2.2.3. Segmentové uzávěry	14
2.2.4. Kulové uzávěry	15
2.2.5. Šoupátkové uzávěry	15
3. Navrhované řešení.....	18
3.1. Varianta 1	18
3.2. Varianta 2	18
3.3. Varianta 3	19
3.4. Výběr varianty řešení	19
4. Mechanicko-fyzikálních vlastností dřevěných pelet.....	20
4.2. Měření úhlu vnitřního tření, počáteční smykové napětí.....	20
4.3. Měření úhlu vnějšího tření	21
4.4. Sypný úhel.....	23
4.5. Sypná hmotnost	24
4.6. Tvar částic	25
5. Technologické výpočty	27
6. Konstrukční řešení těsnícího uzávěru zásobníku	33
7. Pevnostní výpočty	35
7.1. Síla potřebná k otevření horní desky uzávěru	35
7.2. Síla potřebná k otevření dolní desky uzávěru	35
7.3. Kontrola šroubu M8x25 ISO 4015	36
7.4. Kontrola šroubu M20 ISO 4015	37
7.5. Kontrola na stříh horní desky uzávěru	39
7.6. Kontrola na otláčení v místě vedení horní desky uzávěru.....	40
Závěr.....	42
Seznam použité literatury	423

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

A	hrana komory zásobníku	[m]
a	hrana výpustného otvoru	[m]
a_{\min}	minimální velikost výpustného otvoru	[m]
A_s	plocha šroubu	[m ²]
b	velikost hrany pro výpočet na otláčení	[m]
c	velikost hrany pro výpočet na smyk	[m]
d	průměr šroubu	[m]
d_1	malý průměr matice	[m]
d_2	střední průměr šroubu	[m]
d_3	malý průměr šroubu	[m]
d_{\max}	maximální rozměr zrna	[m]
f	koeficient vnitřního tření	[-]
F	osová síla ve šroubu	[N]
F_1	Janssenova síla působící na plochu uzávěru	[N]
G_{ud}	tíha dolní desky uzávěru	[N]
G_{uh}	tíha horní desky uzávěru	[N]
h	výška celého zásobníku	[m]
h_k	výška komory zásobníku	[m]
h_v	výška výsypky	[m]
k	koeficient sypnosti	[-]
K	síla k otevření šoupátka	[N]
k_c	koeficient provozní bezpečnosti	[-]
k_d	součinitel dynamický	[-]
k_o	součinitel závěsu	[-]
k_s	statická bezpečnost	[-]
m	hmotnost 500ml dřevěných pelet	[kg]
m_s	hmotnost sestavy	[kg]
m_{su}	hmotnost sestavy uzávěru	[kg]
m_{ud}	hmotnost dolní desky uzávěru	[kg]
m_{uh}	hmotnost horní desky uzávěru	[kg]
n_{ξ}	počet šroubů	[-]
O_d	obvod výpustného otvoru	[m]
O_z	obvod komory zásobníku	[m]
p	otlačující tlak	[Pa]

p_1^h	vertikální tlak na konstrukci zásobníku	[Pa]
p_{1k}^h	vertikální tlak na konstrukci zásobníku	[Pa]
p_2^h	horizontální tlak na konstrukci zásobníku	[Pa]
p_{2k}^h	horizontální tlak na konstrukci zásobníku	[Pa]
p_D	dovolený tlak	[Pa]
p_h	horizontální tlak v sypké hmotě	[Pa]
p_n	normálový tlak	[Pa]
p_t	tečný tlak	[Pa]
p_v	vertikální tlak v sypké hmotě	[Pa]
R_d	hydraulický poloměr výpustného otvoru	[m]
R_e	mez kluzu nerez	[Pa]
R_z	hydraulický poloměr komory zásobníku	[m]
S	střižná plocha	[m ²]
S_d	Plocha výpustného otvoru	[m ²]
S_p	otlačená plocha	[m ²]
S_z	Plocha komory zásobníku	[m ²]
t	tloušťka horní desky uzávěru	[m]
V	objem 500ml kádinky	[m ³]
V_c	celkový objem zásobníku	[m ³]
V_k	objem komory zásobníku	[m ³]
V_v	objem výsypky zásobníku	[m ³]
w	odpor proti pohybu	[-]
σ_{2J}^h	horizontální tlak v celém zásobníku podle Janssena	[Pa]
σ_{2R}^h	horizontální tlak v celém zásobníku podle Rankina	[Pa]
$\sigma_{2J}^{h_k}$	horizontální tlak v komoře zásobníku podle Janssena	[Pa]
$\sigma_{2R}^{h_k}$	horizontální tlak v komoře zásobníku podle Rankina	[Pa]
σ_{1J}^h	vertikální tlak v celém zásobníku podle Janssena	[Pa]
σ_{1R}^h	vertikální tlak v celém zásobníku podle Rankina	[Pa]
$\sigma_{1J}^{h_k}$	vertikální tlak v komoře zásobníku podle Janssena	[Pa]
$\sigma_{1R}^{h_k}$	vertikální tlak v komoře zásobníku podle Rankina	[Pa]
β	úhel sklonu výsypky	[°]
γ_s	sypná tíha	[N/m ³]

μ	součinitel smykového tření mezi materiálem a uzávěrem	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ_s	sypná hmotnost	[kg/m ³]
σ_D	dovolené tlakové napětí	[Pa]
τ_{Ds}	dovolené smykové napětí	[Pa]
τ_o	počáteční smykové napětí	[Pa]
τ_s	smykové napětí	[Pa]
φ	úhel vnitřního tření	[°]

1. Úvod

Cílem této bakalářské práce je navrhnout vhodnou variantu těsnícího uzávěru výpustného otvoru zásobníku. V zásobníku je uskladněn materiál ve formě dřevěných pelet, a proto musíme dodržet i další požadavky při volbě a návrhu vhodné varianty řešení uzávěru. Jedná se o uzávěr zásobníku těsnící plyny o vysoké teplotě, přibližně okolo 600° C . V podstatě nám jde o to, aby se tyto plyny vycházející z technologie nedostaly do zásobníku s dřevěnými peletami. V první části práce se věnuji konstrukci zásobníků a různými druhy uzávěrů a mechanicko-fyzikálních vlastností dřevěných pelet. V druhé části se zabývám potřebnými výpočty a návrhem řešení. V příloze pak dokládám výkresové podklady.

2. Zásobníky a uzávěry

Zásobníky jsou nádrže (železobetonové, ocelové, hornické atd.) sloužící k uskladnění sypkých hmot. Slouží ke zrovnoměrnění navazujících operací v závodu. Uzávěry jsou zařízení, sloužící k otevírání a zavírání výpustného otvoru, to znamená k zachycování tíhy materiálu.

2.1. Zásobníky

Zásobníky dělíme podle :

Podle tvaru zásobníku :

- a) čtvercová
- b) obdélníková
- c) kruhová
- d) několikahránná
- e) šterbinové

Podle tvaru výsypky :

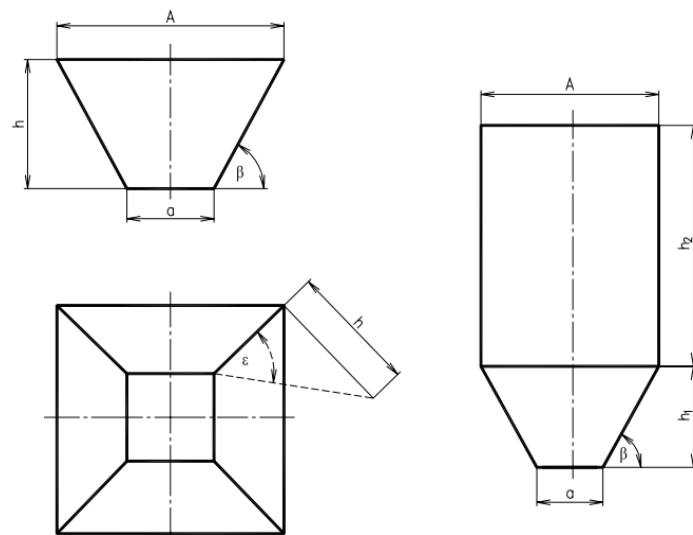
- a) čtvercová
- b) kruhová
- c) několikahránná

Dle ČSN 735570 :

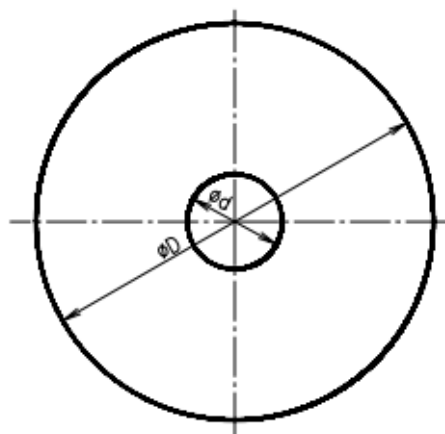
- a) Bunkry (nehluboké zásobníky)
- b) Sila (hluboké zásobníky)

Podle tvaru komor :

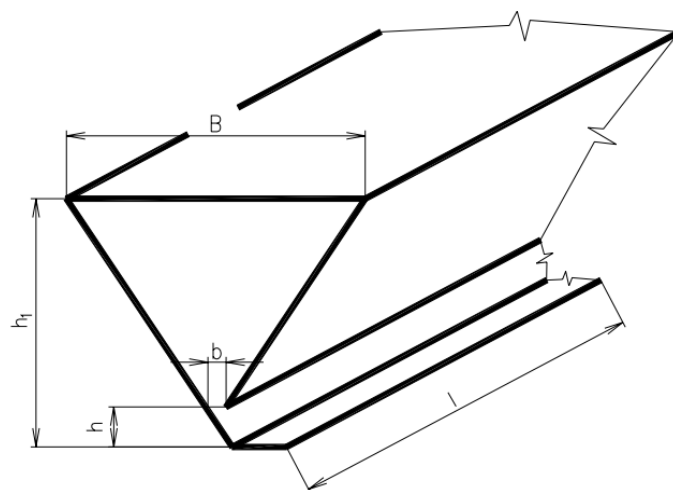
- a) pravoúhlé
- b) válcové
- c) kombinované



Obr. 2.1. Schéma pravoúhlého zásobníku [1]



Obr. 2.2. Půdorys kruhového zásobníku [1]



Obr. 2.3. Štěrbínový zásobník [1]

2.2. Uzávěry

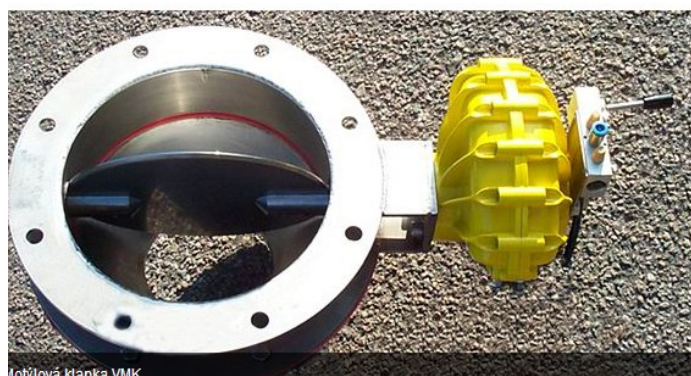
Uzávěry slouží k otevírání nebo zavírání výpustného otvoru, to znamená k zachycování tíhy materiálu .

Uzávěry dělíme :

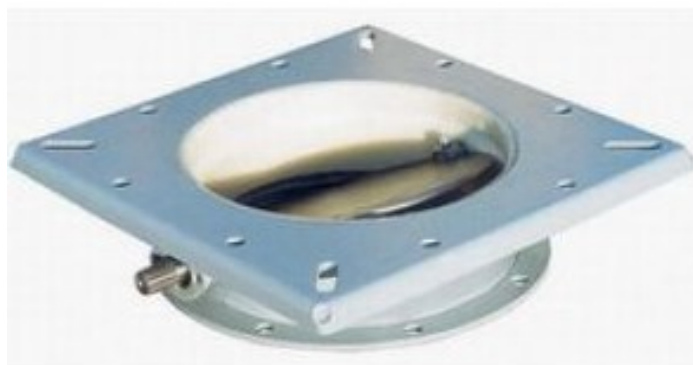
- a) Motýlové klapky
- b) Tyčové
- c) Segmentové
- d) Kulové
- e) Šoupátkové

2.2.1. Motýlové klapky

Motýlové klapky jsou velmi jednoduché zařízení a mají také velmi robustnou konstrukci . Bývají nedílnou součástí vyprazdňování procesních sil a zásobníků sypkých hmot . Jejich ovládání může být jak ruční, tak i motorické (hydraulicky, pneumaticky) . Vyrábějí se v provedení jednopřírubová, dvoupřírubová a klapky pod sila. Těsnění těchto klapek se provádí způsobem kov na kov , díky přesně obrobeným dosedacím plochám. Nejčastěji se používají v potravinářském, stavebním, farmaceutickém, chemickém a krmivářském průmyslu. Pro agresivní prostředí petrochemického a plynárenského průmyslu lze vytvořit i klapky dvoupřírubové těsné. Mezi dosedací plochy se vloží speciální těsnící pryž (etylpropylen nebo nitrilu)



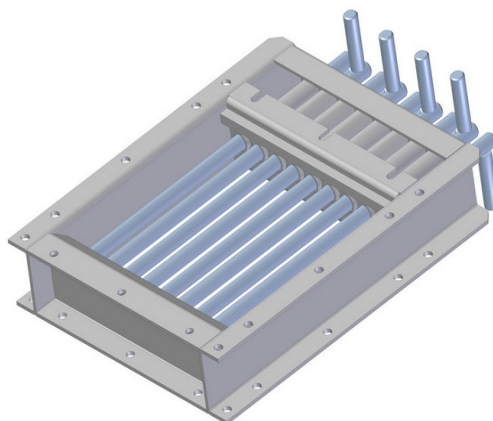
Obr. 2.4 Motýlová klapka [6]



Obr . 2.5 Motýlová klapka pod silo [6]

2.2.2. Tyčové uzávěry

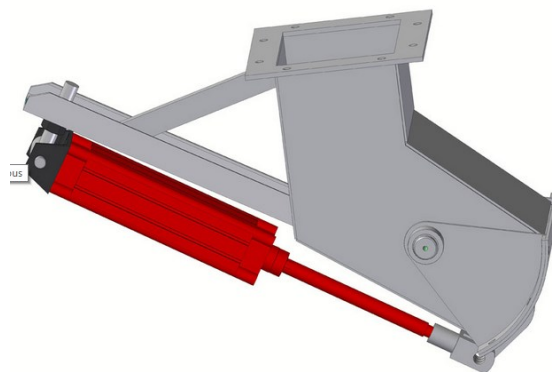
Tyčové uzávěry se používají výhradně pro nouzové otevírání zásobníků a výsypek, a nebo k hrubé regulaci. Jsou vhodné pro materiály o nejvyšší hrubosti zrna do 30 mm . Princip jejich fungování spočívá ve vysouvání nebo zasouvání tyčí, jejich pohon je realizován výhradně ručně, a to kladivem nebo rukou.



Obr. 2.6 Tyčový uzávěr [7]

2.2.3. Segmentové uzávěry

Segmentové uzávěry jsou určeny k provoznímu a havarijnímu uzavírání toku materiálu z výpustných otvorů zásobníku. Jsou vhodné pro širokou škálu sypkých hmot se zrnitostí až do 50 mm. U těchto uzávěrů není možné eliminovat množství vytvořeného prachu. A neměly by být používány pro velmi jemné a lepkavé materiály. Používají se pro nakládku aut a vagónů. Pohony segmentu jsou realizovány buď elektrickým motorem, hydraulicky, pneumaticky, a nebo ručně.



Obr. 2.7 Segmentový uzávěr [7]

2.2.4. Kulové uzávěry

Kulový uzávěr je určen pro uzavírání toku sypkých materiálů ze sil, zásobníků či dopravníků. Konstrukce těchto uzávěrů zabezpečuje volný tok materiálu při otevření ventilu a snadné otevření i při vysokém sloupci materiálu nad ventilem. Ovládání může být ruční, elektromechanické a nebo pneumatické .



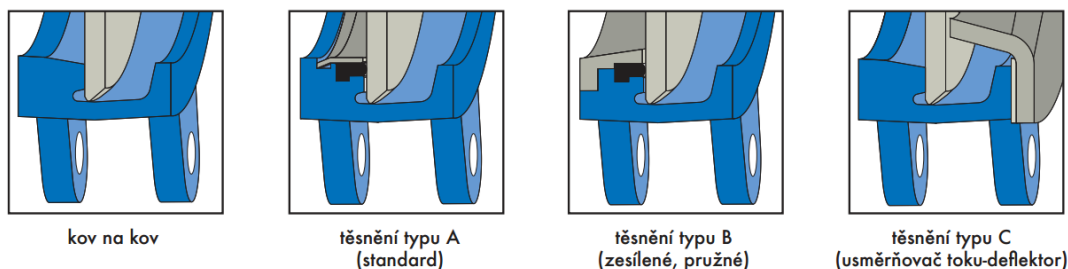
Obr. 2.8 Kulový uzávěr [6]

2.2.5. Šoupátkové uzávěry

Deskové uzávěry jsou určeny pro uzavírání sil, zásobníků a výsypek. Jsou vhodné pro sypké, nelepivé, nevýbušné, práškové, ale i kusové materiály o zrnitosti do 32 mm. Šoupátkový uzávěr se skládá z rámu, nejčastěji čtvercového průřezu, uzavírací desky, pohonného ústrojí a krytu. Pro provoz, kde šoupátko pracuje spíše příležitostně se volí pohony ruční , a nebo pohon pákou . Na rozdíl od provozů, kde je uzávěr využíván často, se volí pohony elektrické, pneumatické a nebo hydraulické. Pohyb šoupátka (desky) je vyvozen buď ozubeným hřebenem s oz. koly, a nebo pohybovým šroubem. Při velkém zatížení uzávěru bývá deska posouvána po systému malých kladiček, aby se eliminovaly ztráty třením desky o vodící desku, či rám . U některých typů je požadována i těsnost tohoto uzávěru, a to se realizuje u čtvercových uzávěrů gumovým těsněním po třech stranách a centrálním zadním

těsněním, které působí zároveň jako stěrač od nečistot. U kruhových šoupátkových uzávěrů je docíleno těsnosti obvodovým těsněním pod dosedací plochou (sedlem). Těchto sedlových utěsnění existuje několik typů. Značnou nevýhodou těsných šoupátkových uzávěrů je problém se vhodností těsnícího materiálu pro vysoké teploty. Existují tyto uzávěry až do teploty přesahující 600° C, ale tyto uzávěry nebývají moc těsné a sedlo je provedeno způsobem kov-kov, jiné provedení jsou už těsná, ovšem pouze do teplot okolo 100°C.

SEDLOVÁ PROVEDENÍ

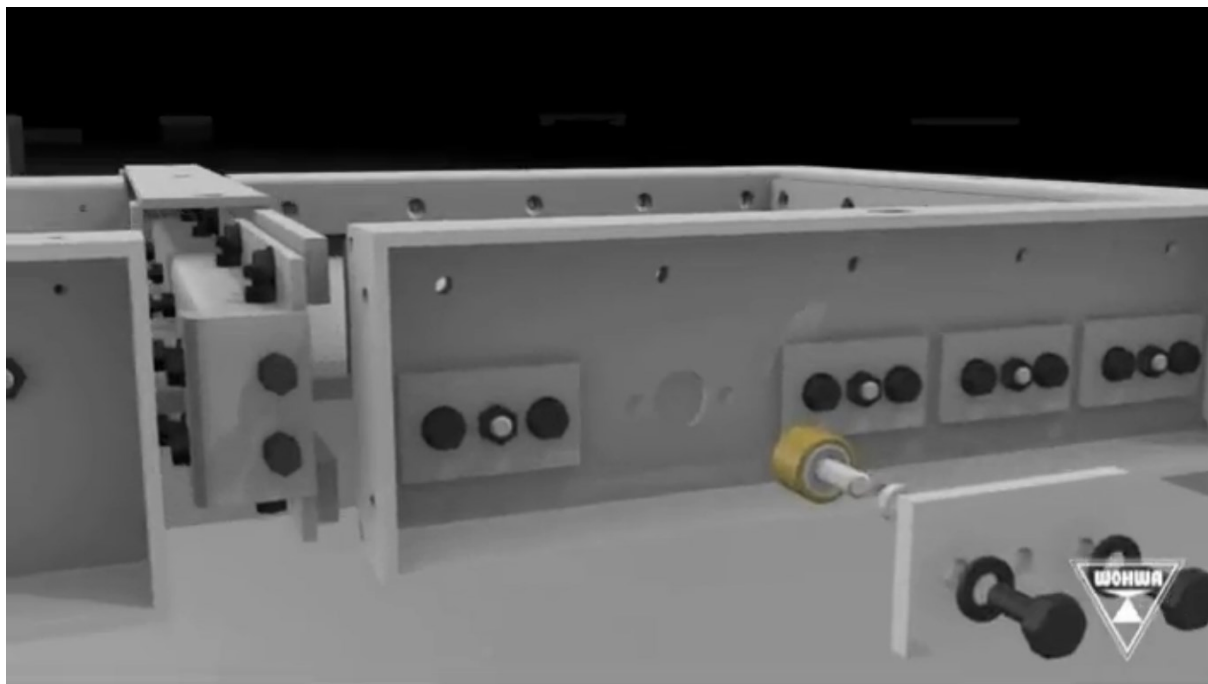


Obr. 2.9 Sedlová provedení těsnění pro kruhové šoupátkové uzávěry [8]

sedlo/těsnění			ucpávka		
Materiál	Max. teplota °C	Oblast použití	Materiál	Max. teplota °C	pH
Kov/kov (M)	>250	Vysoké teploty, nízká těsnost	Ložovaný provazec bavlny (AH)	50	6 – 8
EPDM (E)	120	kyseliny a neminerální oleje	Suchá bavlna (AS)	50	6 – 8
Nitril (N)	120	Odolný ropným produktům	Syntetické vlákno s PTFE (ST)	240	2 – 13
Viton (V)	200	Všeobecné chemické aplikace Vysoké teploty	Opletený PTFE (TH)	260	0 – 14
Silikon (S)	250	Potravinářství, vysoké teploty	Grafit (GR)	600	0 – 14
PTFE (T)	250	Dobrá korozní odolnost	Keramické vlákno (FC)	1200	--
			Poznámka: všechny typy vč. O-kroužku ve stejném materiálu jako sedlo kromě TH,GR a FC.		

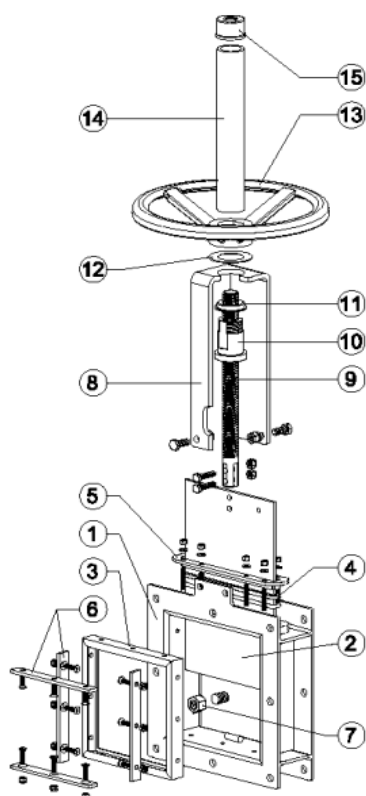
Provedení sedla			
	KOV/KOV <ul style="list-style-type: none"> vysoké teploty aplikace s médii o vysoké hustotě když není požadována plná těsnost 		TYP „B“ (měkké sedlo) <ul style="list-style-type: none"> standardní měkké materiály Dovolené teploty jsou omezeny použitým materiálem. Kontaktujte naše technické oddělení pro další informace. vyměnitelné i s opěrou těsnění

Obr. 2.10 Vhodnost materiálu pro těsnění a ucpávky, včetně provedení sedel [9]



Obr. 2.11 Vedení desky po kladičkách [10]

Povedení:



Umístění sedla:	Ve směru	Pracovní tlak:
		V protisměru
DN 50 až DN 250:	10 (kg/cm ²)	3 (kg/cm ²)
DN 300 až DN 400:	6 (kg/cm ²)	2 (kg/cm ²)
DN 450:	5 (kg/cm ²)	1,5 (kg/cm ²)
DN 500 až DN 600:	4 (kg/cm ²)	1 (kg/cm ²)

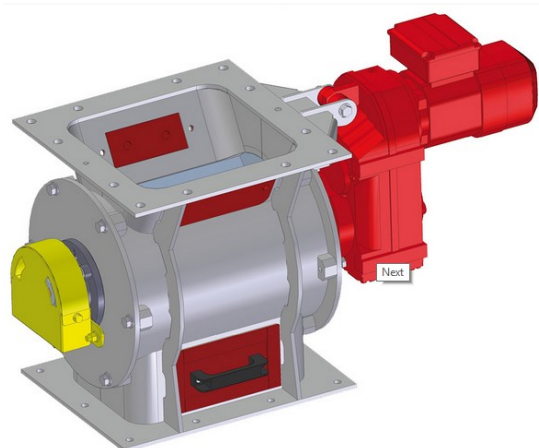
pol.	Popis	HI(x)AH	II(x)ST
1.	Tělo	uhlíková ocel	ÄISI 316
2.	Deska	AISI 304	AISI 316
3.	Sedlo (x)	kov nebo měkké těsnění	
4.	Ucpávka	AH	ST
5.	Víko ucpávky	uhlíková ocel	AISI 316
6.	Opěra těsnění	uhlíková ocel	AISI 316
7.	Kluzné vedení	uhlíková ocel nebo AISI 316 + Nylon nebo PTFE	
8.	Nosníky	Uhlíková ocel , epoxid. povrch	
9.	Hřídel	AISI 303	
10.	Šroub hřídele	Mosaz	
11.	Objímka	Nylon	
12.	Třecí podložka	Mosaz	
13.	Ruční kolo	tvárná litina nebo šedá litina GG25	
14.	Kryt hřídele	Uhlíková ocel , epoxid. povrch	
15.	Zátka	plast	

Obr. 2.12 Schéma čtvercového šoupátkového uzávěru s ručním pohonem [9]

3. Navrhované řešení

- zvažoval jsem 3 varianty řešení

3.1. Varianta 1

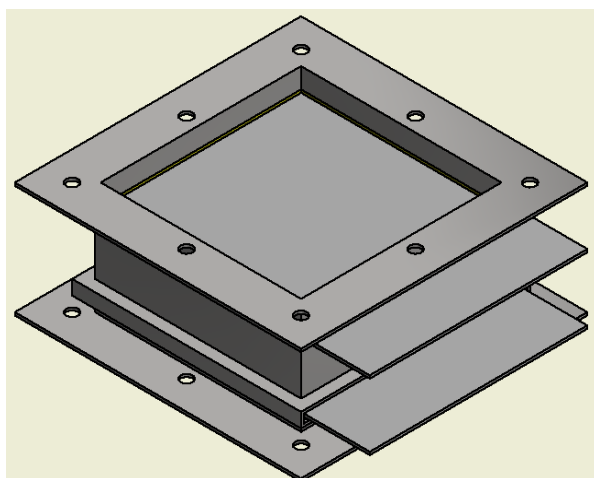


Obr. 3.1. Rotační uzávěr [7]

Rotační uzávěr dokáže být těsný a odolávat relativně vysokým teplotám, ale dopravovaný materiál dopravuje v pravidelných dávkách, což je pro nás nepříznivé. Tento způsob řešení je vhodný pro granulové materiály, i z hlediska výbušnosti. Ale pro naše řešení je nevhodné, protože je velmi rozměrný a neumožňuje nám volný tok materiálu ze zásobníku.

Z těchto důvodů jsem usoudil, že tato varianta řešení není pro nás vhodná.

3.2. Varianta 2

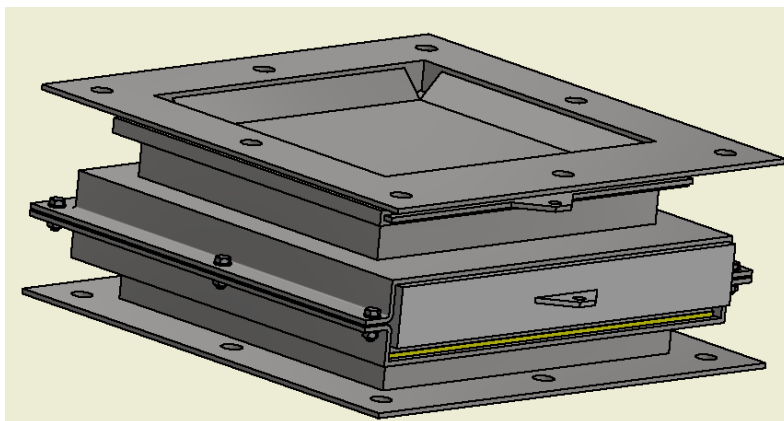


Obr. 3.2 Šoupátkový uzávěr se dvěma stejnými deskami

Tuto variantu řešení jsem zvažoval, nicméně během hlubšího zaměřování se na toto řešení a konzultace s doc. Ing. Zdeňkem Kadlecem Ph.D, jsme došli k závěru, že sálavá složka teploty bude příliš velká, tudíž nelze tuto variantu řešení použít. Tento návrh je ale levnější a konstrukčně méně náročnější. Vhodnost tohoto uzávěru je spíše pro aplikace, kde není příliš vysoká teplota.

Tato varianta řešení se pro naše účely jeví jako nevhodná, a proto ji nebudeme volit.

3.3. Varianta 3



Obr. 3.3 Šoupátkový uzávěr se sendvičovou deskou

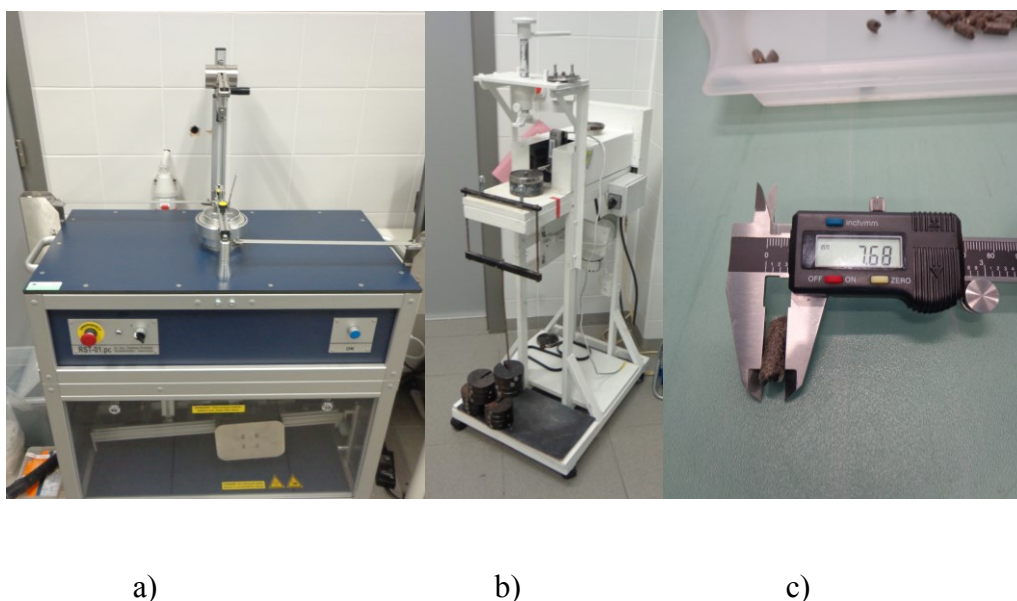
Tato varianta byla vybrána proto, protože vzhledem k vysoké absorpci sálavého tepla se jeví, jako přijatelnější řešení. Spodní deska šoupátkového uzávěru je tvořena sendvičovým způsobem. Pro vyplnění dutiny sendvičové desky bylo použito materiál Sibal, který má velmi dobré tepelně-izolační vlastnosti.

3.4. Výběr varianty řešení

Z důvodu působení vysoké sálavé teploty pod uzávěrem a volného toku materiálu ze zásobníku jsem se rozhodl pro návrh řešení variantu 3. Tato varianta 3 nám umožňuje, aby materiál ze zásobníku mohl volně téci, zabraňuje působení teploty na obsah zásobníku a také jako jediná možná varianta ze všech tří je prostorově přijatelná. Podrobný popis bude v kapitole 6.

4. Mechanicko-fyzikálních vlastností dřevěných pelet

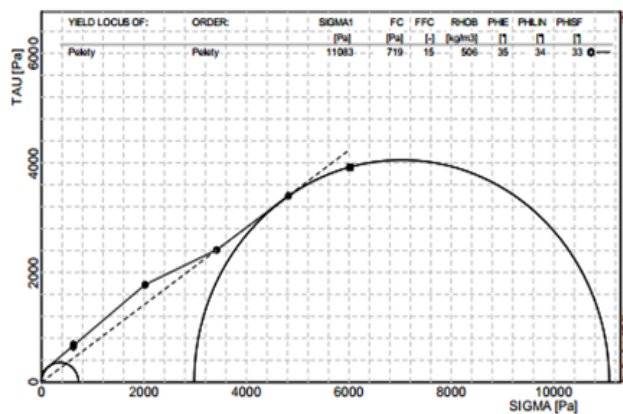
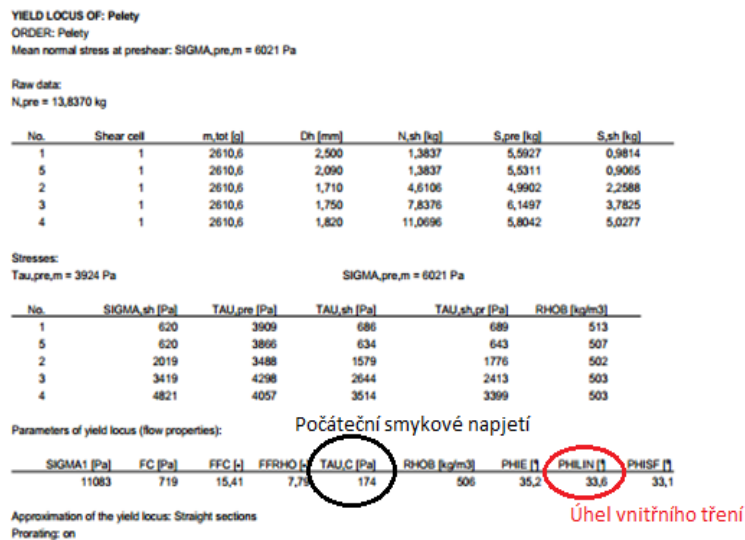
Jak již bylo řečeno, skladovaným materiálem budou dřevěné pelety, které vznikají lisováním dřevěných pilin a jiných surovin. Pro výpočet a návrh uzávěru je nutno znát mechanicko – fyzikální vlastnosti dřevěných pelet. Tyto vlastnosti jsme změřili v Laboratoři sypkých hmot pomocí různých strojů a nástrojů. Pro měření úhlu vnitřního tření byl použit Schulzeho stroj, pro úhel vnitřního tření Jenikeho smykový stroj a pro měření tvaru a velikosti částic bylo použito posuvné měřítko.



Obr. 4.1. Přístroje a nástroje pro měření mech. – fyzikálních vlastností dřevěných pelet
a) Schulzeho stroj , b) Jenikeho smykový stroj , c) digitální posuvné měřítko

4.2. Měření úhlu vnitřního tření, počáteční smykové napětí

Úhel vnitřního tření zahrnuje tření mezi jednotlivými zrny materiálu. U téhož materiálu závisí na normálovém tlaku a na míře konsolidace materiálu. S rostoucím vertikálním napětím roste i úhel vnitřního tření. Měření se provádí na smykovém, nebo rotačním stroji na čerstvém a konsolidovaném materiálu. Výsledkem zkoušky na Schulzeho rotačním stroji je graf .



Obr. 4.2 Výsledek měření úhli vnitřního tření

4.3. Měření úhlu vnějšího tření

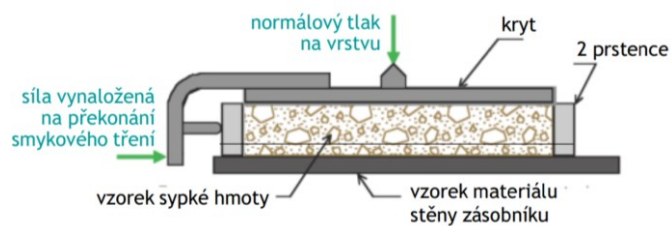
Úhel vnějšího tření je úhlem při kterém sypký materiál začíná klouzat po podložce a je třeba odlišovat úhel vnějšího tření :

- za klidu $\text{tg } \nu = \mu$, kde μ -součinitel vnějšího tření za klidu
- za pohybu $\text{tg } \nu_d = \mu_d$, kde μ_d -součinitel vnějšího tření za pohybu
-

Vzájemnou relaci mezi úhlem vnějšího tření za klidu a za pohybu lze vyjádřit následujícím vztahem :

$$\mu_d < \mu \Rightarrow \nu_d < \nu$$

Součinitel vnějšího tření se mění s velikostí normálového tlaku. Výrazně závisí na typu podkladového materiálu a jeho stavu.

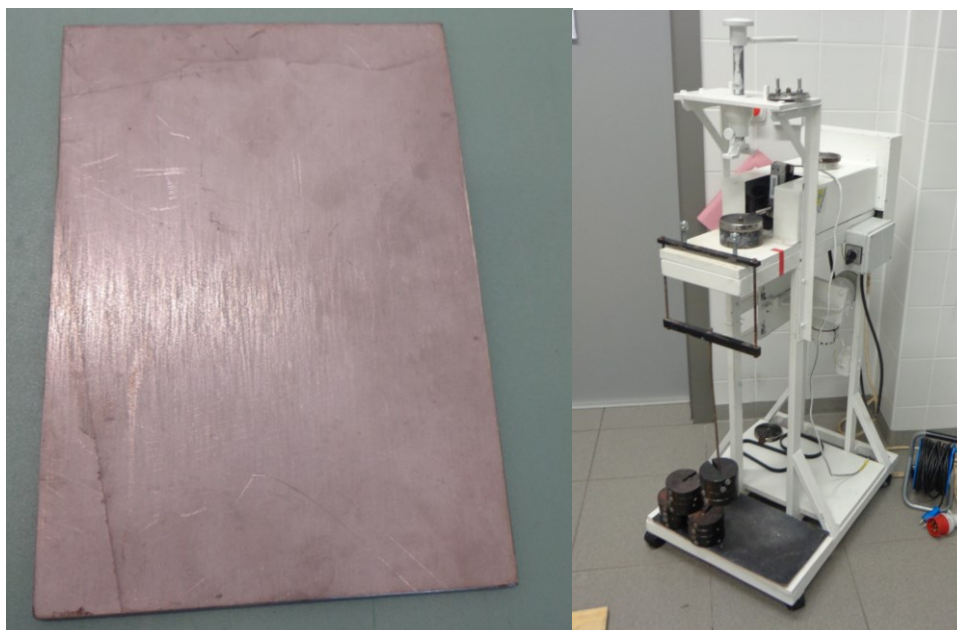


Obr. 4.3 Princip měření úhlu vnějšího tření

Princip tohoto měření spočívá v tom, že na podložku (v našem případě je to nerez plech) se položí prsteneček, do kterého se nasype zkoumaný materiál. Na materiál se shora položí kryt, který se následně zatíží normálovou silou. Tato síla je vyvozena závažími (4, 8, 12, 16). Poté je na zatížený kryt vyvíjena tečná síla na překonání smykového tření . Hmotnost jednoho závaží je 1,1 kg.

Podložka	Tečná síla				Jednotky
	Závaží	Měření			
		1.	2.	3.	
Nerez	4	10,8	11,8	13,2	[N]
	8	16,2	17,5	17,7	[N]
	12	20,9	22,8	21	[N]
	16	25,5	26,6	24,8	[N]

Tabulka 4.1. Naměřené hodnoty tečné síly



a)

b)

Obr. 4.3 Měření úhlu vnějšího tření

a) Nerezový plech , b) Měření úhlu vnějšího tření na Jenikeho stroji

4.4. Sypný úhel

Sypný úhel je úhel, který svírá tečna ke svahu volně nasypaného materiálu na vodorovné podložce. Hromadu materiálu dostaneme naplněním kruhové nádoby bez dna a pozvolným rovnoměrným zvedáním této nádoby.

Postup při měření sypného úhlu byl následující. Na střed podložky rozdělené do čtyř kvadrantů jsme položili nádobu bez dna. nádobu jsme naplnili materiálem a následně ji rovnoměrným pohybem směrem vzhůru pohybovali. Poté byl změřen úhel tečny ke svahu hromady ze všech čtyřech stran. Pro přesnost měření jsme tento postup opakovali 5 krát .

	Měření					
Kvadrant	1.	2.	3.	4.	5.	Σ
I	20,4	31,3	32,9	32,6	32,9	150,1
II	21,8	29,2	30,7	31,3	32	145
III	21,3	27,6	28,3	29,9	27,6	134,7
IV	19,4	28,1	28,6	26,7	30,1	132,9
Σ	82,9	116,2	120,5	120,5	122,6	140,675
průměr	20,725	29,05	30,125	30,125	30,65	28,135

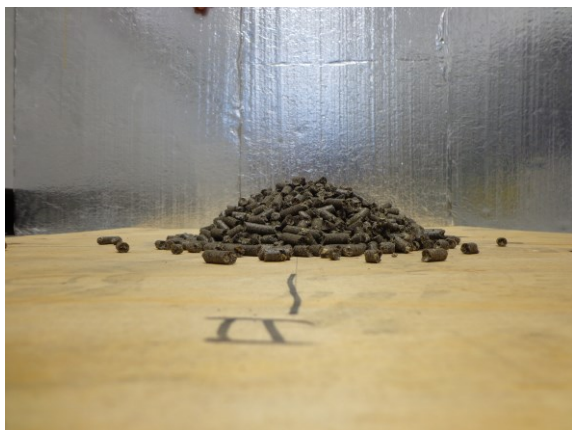
Tabulka 4.2. Tabulka hodnot z měření sypného úhlu



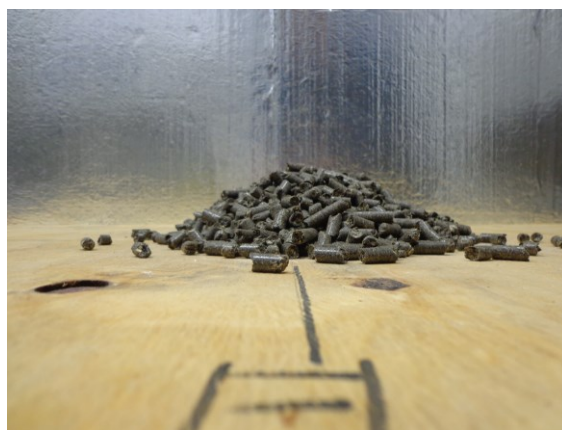
a)



b)



c)



d)



e)

Obr 4.4 Měření sypného úhlu

a) dřevěná podložka s čtyřmi kvadranty , b) nádoba plná materiálu , c) hromada z II. kvadrantu , d) hromada z IV. kvadrantu , e) úhel tečny ke svahu hromady

4.5. Sypná hmotnost

Tuto hodnotu jsem zjistil pomocí 500ml kádinky, do které jsem nasypal 500 ml dřevěných pelet. Hmotnost těchto 500ml pelet jsem zvážil a pomocí vzorce vypočítal sypnou hmotnost .

$$\rho_s = \frac{m}{V} \quad [2] \quad (4.1)$$

$$\rho_s = \frac{0,32}{0,0005}$$

$$\rho_s = 640 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

kde : m – hmotnost 500 ml dřevěných pelet [kg]

V – objem 500 ml kádinky [m^3]



a)



b)

Obr. 4.5. Měření sypné hmotnosti

a) 500ml nádoba s dřevěnými peletami, b) váha 500 ml dřevěných pelet bez hmotnosti nádoby

4.6. Tvar částic

Tvar jednotlivých zrn dřevěných pelet je válcový. Jejich průměr se pohybuje od 7mm do 8mm. Měření bylo prováděno digitálním posuvným měřítkem. Délkové rozměry jednotlivých zrn byly různé, ovšem v intervalu od 35 mm do 3 mm. Vybráním několika náhodných zrn pelet jsme určili průměrnou délku pelety.



a)

b)

c)



d)

e)

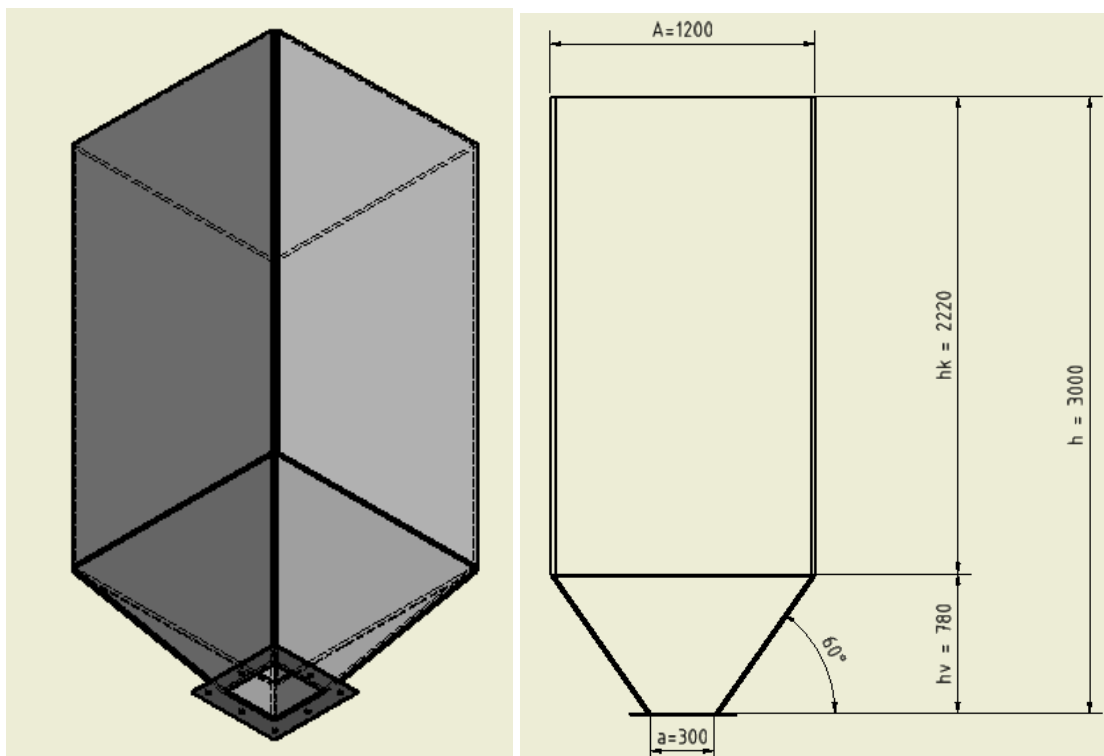
Obr. 4.6. Měření tvaru dřevěných pelet

a) hromada pelet, b) měření průměru pelet, c) d) délkové rozměry pelet, e) různé velikosti pelet

Vzorek					průměr
1	2	3	4	5	
32,1	23,1	16,43	10,63	5,73	17,598

Tabulka 4.3. Průměrná délka dřevěných pelet [mm]

5. Technologické výpočty



Objem výsypky zásobníku

$$V_v = \frac{1}{3} \cdot h_v \cdot (S_d + S_z + \sqrt{S_d \cdot S_z}) \quad [2] \quad (5.1)$$

$$V_v = \frac{1}{3} \cdot 0,78 \cdot (0,09 + 1,44 + \sqrt{0,09 \cdot 1,44})$$

$$V_v = 0,4914 \text{ [m}^3\text{]}$$

Objem komory zásobníku

$$V_k = A \cdot A \cdot h_k \quad [2] \quad (5.2)$$

$$V_k = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 2,22$$

$$V_k = 3,1968 \text{ [m}^3\text{]}$$

Objem celého zásobníku

$$V_c = V_v + V_k \quad [2] \quad (5.3)$$

$$V_c = 0,4914 + 3,1968$$

$$V_c = 3,6882 \text{ [m}^3\text{]}$$

Velikost výpustného otvoru pro čtvercovou výsypku

$$a_{\min} = \frac{4 \cdot \tau_o \cdot (1 + \sin \varphi)}{\gamma_s} \cdot k_c + d_{\max} \quad [1] \quad (5.4)$$

$$a_{\min} = \frac{4 \cdot 174 \cdot (1 + \sin 33,6^\circ)}{6278} \cdot 1,5 + 0,0321$$

$$a_{\min} = 0,290 \quad [\text{m}]$$

$$a > a_{\min} \quad [\text{m}]$$

kde : τ_o - počáteční smykové napětí (zjištěno laboratorním měřením) [Pa]

$$\tau_o = 174 \text{ [Pa]}$$

φ – úhel vnitřního tření (zjištěno laboratorním měřením) [deg]

$$\varphi = 33,6 [^\circ]$$

γ_s - sypná tíha [N . m³]

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g \quad [2]$$

$$\gamma_s = 640 \cdot 9,81$$

$$\gamma_s = 6278 \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-3}]$$

$k_c = (1 \div 4)$ -koeficient provozní bezpečnosti [–]

$$k_c = 1,5 [–] - \text{zvoleno } [1]$$

d_{\max} = maximální rozměr zrna (zjištěno laboratorním měřením) [m]

$$d_{\max} = 0,0321 \text{ [m]}$$

Plocha komory zásobníku

$$S_z = A^2 \quad [3] \quad (5.5)$$

$$S_z = 1,2^2$$

$$S_z = 1,44 \text{ [m}^2 \text{]}$$

Plocha výpustného otvoru

$$S_d = a^2 \quad [3] \quad (5.6)$$

$$S_d = 0,3^2$$

$$S_d = 0,09 \text{ [m}^2 \text{]}$$

Obvod komory zásobníku

$$o_z = 4 \cdot A \quad [3] \quad (5.7)$$

$$o_z = 4 \cdot 1,2$$

$$o_z = 4,8 \text{ [m]}$$

Obvod výpustného otvoru

$$o_d = 4 \cdot a \quad [3] \quad (5.8)$$

$$o_d = 4 \cdot 0,3$$

$$o_d = 1,2 \text{ [m]}$$

Hydraulický poloměr výpustného otvoru

$$R_d = \frac{S_d}{o_d} \quad [2] \quad (5.9)$$

$$R_d = \frac{0,09}{4 \cdot a}$$

$$R_d = \frac{0,09}{4 \cdot 0,3}$$

$$R_d = 0,075 \text{ [m]}$$

Hydraulický poloměr komory zásobníku

$$R_z = \frac{S_z}{o_z} \quad [2] \quad (5.10)$$

$$R_z = \frac{1,44}{4 \cdot A}$$

$$R_z = \frac{1,44}{4 \cdot 1,2}$$

$$R_z = 0,3 \text{ [m]}$$

Koeficient sypnosti

$$k = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad [2] \quad (5.11)$$

$$k = \frac{1 - \sin 33,6}{1 + \sin 33,6}$$

$$k = 0,29 \text{ [-]}$$

Koeficient vnitřního tření

$$f = \operatorname{tg} \varphi \quad [2] \quad (5.12)$$

$$f = \operatorname{tg} 33,6^\circ$$

$$f = 0,66 [-]$$

VÝPOČET TLAKŮ V MÍSTĚ VÝPUSTNÉHO OTVORU PODLE JANSSENA

Vertikální tlak v sypké hmotě v komoře zásobníku

$$\sigma_{1j}^{h_k} = \frac{\gamma_s \cdot R_z}{f \cdot k} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{f \cdot k \cdot h_k}{R_z}}} \right) \quad [2] \quad (5.13)$$

$$\sigma_{1j}^{h_k} = \frac{6278 \cdot 0,3}{0,29 \cdot 0,66} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{0,66 \cdot 0,29 \cdot 2,22}{0,3}}} \right)$$

$$\sigma_{1j}^{h_k} = 7422,3 \text{ [Pa]}$$

Vertikální tlak na konstrukci zásobníku

$$p_1^{h_k} = \sigma_{1j}^{h_k} \cdot k_d \cdot k_o \quad [2] \quad (5.14)$$

$$p_1^{h_k} = 7422,3 \cdot 1,5 \cdot 1,5$$

$$p_1^{h_k} = 16700 \text{ [Pa]}$$

kde: $k_d = (1,1 \div 1,6)$ - dynamický součinitel

$$k_d = 1,5 [-] \text{ (zvoleno)} \quad [2]$$

$k_o = (1 \div 2)$ – součinitel závěsu

$$k_o = 1,5 [-] \text{ (zvoleno)} \quad [2]$$

Horizontální tlak v sypké hmotě v komoře zásobníku

$$\sigma_{2j}^{h_k} = \sigma_{1j}^{h_k} \cdot k \quad [2] \quad (5.15)$$

$$\sigma_{2j}^{h_k} = 7422,3 \cdot 0,29$$

$$\sigma_{2j}^{h_k} = 2152,5 \text{ [Pa]}$$

Horizontální tlak na konstrukci zásobníku

$$p_2^{h_k} = \sigma_{2j}^{h_k} \cdot k_d \cdot k_o \quad [2] \quad (5.16)$$

$$p_2^{h_k} = 2152,5 \cdot 1,5 \cdot 1,5$$

$$p_2^{h_k} = 4843 \text{ [Pa]}$$

Vertikální napětí v sypké hmotě v celém zásobníku

$$\begin{aligned}\sigma_{1J}^h &= \frac{\gamma_s \cdot R_d}{f \cdot k} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{f \cdot k \cdot h}{R_d}}} \right) \\ \sigma_{1J}^h &= \frac{6867 \cdot 0,075}{0,29 \cdot 0,66} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{0,66 \cdot 0,29 \cdot 3}{0,075}}} \right) \\ \sigma_{1J}^h &= \mathbf{2458,9 \text{ [Pa]}}\end{aligned}\quad [2] \quad (5.17)$$

Vertikální tlak na konstrukci zásobníku

$$\begin{aligned}p_1^h &= \sigma_{1J}^h \cdot k_d \cdot k_o \\ p_1^h &= 2458,9 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \\ p_1^h &= \mathbf{5532,5 \text{ [Pa]}}\end{aligned}\quad [2] \quad (5.18)$$

Horizontální tlak v sypké hmotě v celém zásobníku

$$\begin{aligned}\sigma_{2J}^h &= \sigma_1^h \cdot k \\ \sigma_{2J}^h &= 2458,9 \cdot 0,29 \\ \sigma_{2J}^h &= \mathbf{713 \text{ [Pa]}}\end{aligned}\quad [2] \quad (5.19)$$

Horizontální tlak na konstrukci zásobníku

$$\begin{aligned}p_2^h &= \sigma_{2J}^h \cdot k_d \cdot k_o \\ p_2^h &= 713 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \\ p_2^h &= \mathbf{1604,2 \text{ [Pa]}}\end{aligned}\quad [2] \quad (5.20)$$

VÝPOČET TLAKŮ V MÍSTĚ VÝPUSTNÉHO OTVORU PODLE RANKINA

Vertikální tlak v komoře zásobníku

$$\begin{aligned}\sigma_{1R}^{h_k} &= \gamma_s \cdot h_k \\ \sigma_{1R}^{h_k} &= 6867 \cdot 2,22 \\ \sigma_{1R}^{h_k} &= \mathbf{15244,7 \text{ [Pa]}}\end{aligned}\quad [2] \quad (5.21)$$

Horizontální tlak v komoře zásobníku

$$\begin{aligned}\sigma_{2R}^{hk} &= \sigma_1^{hk} \cdot k \\ \sigma_{2R}^{hk} &= 15244,7 \cdot 0,29 \\ \sigma_{2R}^{hk} &= \mathbf{4420 \text{ [Pa]}}\end{aligned}\quad [2] \quad (5.22)$$

Vertikální napětí v celém zásobníku

$$\begin{aligned}\sigma_{1R}^h &= \gamma_s \cdot h \\ \sigma_{1R}^h &= 6867 \cdot 3 \\ \sigma_{1R}^h &= \mathbf{20601 \text{ [Pa]}}\end{aligned}\quad [2] \quad (5.23)$$

Horizontální tlak v celém zásobníku

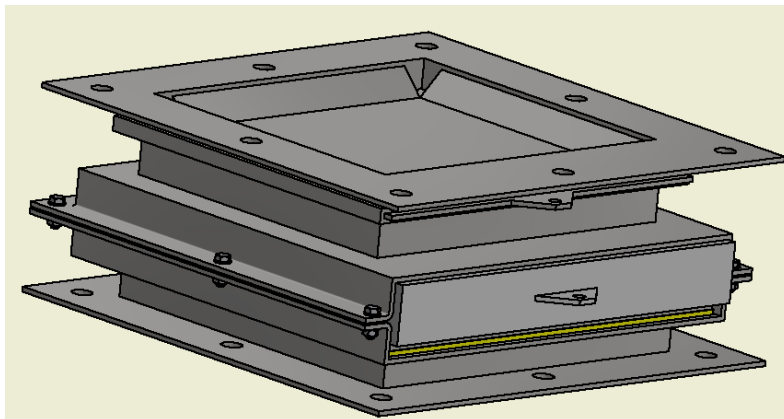
$$\begin{aligned}\sigma_{2R}^h &= \sigma_1^h \cdot k \\ \sigma_{2R}^h &= 20601 \cdot 0,29 \\ \sigma_{2R}^h &= \mathbf{5974,3 \text{ [Pa]}}\end{aligned}\quad [2] \quad (5.24)$$

Na první pohled je patrné, že hodnoty podle teorie Rankina vycházejí mnohonásobně větší než hodnoty podle teorie Janssena. Je to způsobeno tím, že Janssen do výpočtu započítává vnitřní tření materiálu, kdežto Rankin vnitřní a vnější tření materiálu zanedbává. Proto dále budeme vycházet z teorie podle Janssena, jelikož je přesnější.

Síla, působící na plochu uzávěr

$$\begin{aligned}F_1 &= p_1^h \cdot S_d \\ F_1 &= 5532,5 \cdot 0,09 \\ F_1 &= \mathbf{497,9 \text{ [N]}}\end{aligned}\quad [2] \quad (4.25)$$

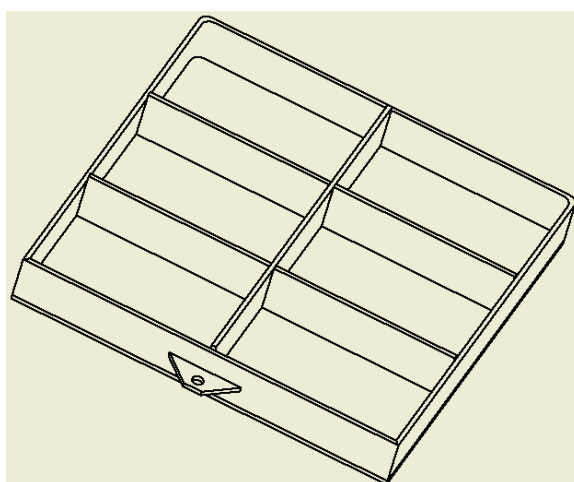
6. Konstrukční řešení těsnícího uzávěru zásobníku



Obr. 6.1. Těsnící uzávěr zásobníku

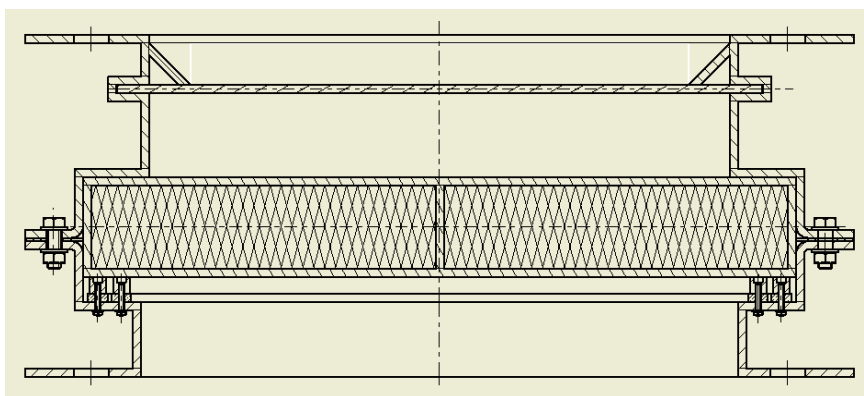
Z kapitoly 3.4 je patrné, že těsnící uzávěr zásobníku bude řešen, jako šoupátkový uzávěr se spodní deskou sendvičovou a horní deskou z nerez plechu. Sendvičová deska je tam z důvodu absorpce sálavého tepla vycházející z technologie pod uzávěrem. Po odborné konzultaci s doc. Ing. Zdeňkem Kadlecem, Ph.D. z katedry energetiky se jevílo jako nejpříjemnější řešení způsobu výplně sendvičové desky materiál Sibal ve formě desek. Deskový Sibal byl vybrán pro své výborné tepelně-izolační vlastnosti.

Spodní deska uzávěru je vyrobena jako svařenec z několika dílů. Pro svou tvarovou stálost musí být opatřena výztuhami, které zároveň tvoří komory pro sibalové desky. Sibalové desky se používají jako protipožární clony, vyzdívky kotlů a pecí, tepelné štíty a dokážou odolávat teplotám až do 1400 °C. Jejich výraznou výhodou je nízká tepelná vodivost, která se pohybuje v intervalech od 0,09 až 0,17 W/m·K. Vyrábí se v tloušťkách od 3 mm až do 75 mm.

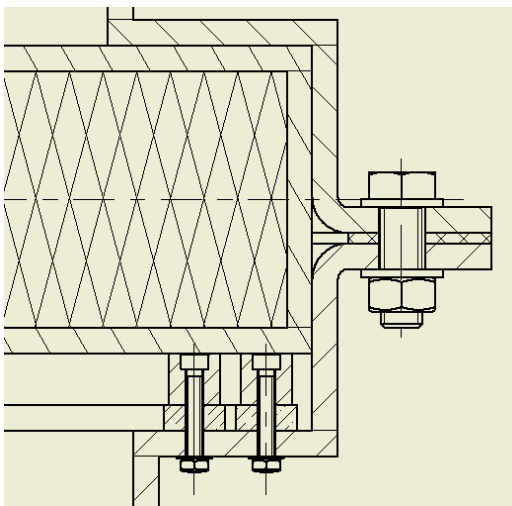


Obr. 6.2. Výztuhy a komory sendvičového šoupátka

Utěsnění prostoru po obvodu spodní desky šoupátka musí být proto, protože z technologie vystupují velmi jedovaté a agresivní plyny, např. vodík, metan, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, uhlovodíky a velké množství tepla, které musíme eliminovat. Tyto plyny je třeba utěsnit, aby nedošlo k úniku těchto plynů do okolí a kontaktu s obsluhou a lidmi v provozu, jelikož jsou tyto plyny jedovaté. Těsnění bude vyrobeno z šamotových pásů, které budou přichyceny pojezdovými lištami z nerezového materiálu. Po těchto pojezdových lištách bude pojíždět samotná sendvičová deska. Pro zlepšení a zefektivnění těsnícího účinku budou šamotové pásy ve dvou řadách. Uchycení pojezdových pásů bude pomocí zápusťných šroubů M3 x 20 .



Obr. 6.3. Utěsnění plynů a tepla



Obr. 6.4. Detail způsobu uchycení těsnění

7. Pevnostní výpočty

7.1. Síla potřebná k otevření horní desky uzávěru

$$K = F_1 \cdot \mu + (F_1 + G_{uh}) \cdot w \quad [1] \quad (7.1)$$

$$K = 497,9 \cdot 0,146 + (497,9 + 55,62) \cdot 0,15$$

$$K = 155,7 \text{ [N]}$$

kde : F_1 - Janssenová síla působící na uzávěr [N]

μ - Součinitel kluzného tření mezi materiálem a uzávěrem (zjištěno laboratorním měřením) [-]

G_{uh} - tíha horního uzávěru [N]

$$G_{uh} = m_{uh} \cdot g \quad [3] \quad (7.2)$$

$$G_u = 5,67 \cdot 9,81$$

$$G_{uh} = 55,62 \text{ [N]}$$

m_{uh} – hmotnost horní desky uzávěru [kg]

$w = (0,1 \div 0,2)$ - měrný odpor proti pohybu [-] (jelikož je vedení horní desky šoupátkového uzávěru řešeno kluzně, součinitel tření bude OCEL x OCEL)

$w = 0,15$ [-] – zvoleno [1]

7.2. Síla potřebná k otevření dolní desky uzávěru

$$K = G_{ud} \cdot w \quad [1] \quad (7.3)$$

$$K = 245,15 \cdot 0,15$$

$$K = 36,77 \text{ [N]}$$

kde : G_{ud} – tíha dolního uzávěru [N]

$$G_{ud} = m_{ud} \cdot g \quad [3] \quad (7.4)$$

$$G_{ud} = 24,99 \cdot 9,81$$

$$G_{ud} = 245,15 \text{ [N]}$$

m_{ud} – hmotnost dolní desky uzávěru [kg]

w – měrný odpor proti pohybu [-] (dolní deska se pohybuje po pojezdových pásech z nerezové oceli, tudíž součinitel tření bude OCEL x OCEL)

$$w = 0,15 \text{ [-]} \text{ – zvoleno [1]}$$

Pohon obou desek bude realizován pomocí pneumatických pohonů. Každá z desek bude mít svou pohonnou jednotku s různými zdvihy.

Havarijní otevírání a uzavírání těchto obou desek uzávěru bude realizováno pomocí ručního pohonu, protože síly potřebné k otevření a uzavření desek šoupátka nejsou natolik velké, aby musel být havarijní způsob otevírání jakkoliv mechanický. Lidská tažná a tlačná síla se pohybuje okolo 300 N, což splňuje požadavky pro ruční havarijní pohon.

7.3. Kontrola šroubu M8x25 ISO 4015

Materiál šroubu

11 500

Mez kluzu

$$R_e = 245 \text{ [MPa]} \quad [3]$$

Dovolené napětí

$$\sigma_D = 0,1 \cdot R_e \quad [3] \quad (7.5)$$

$$\sigma_D = 0,1 \cdot 245$$

$$\sigma_D = 24,5 \text{ [MPa]}$$

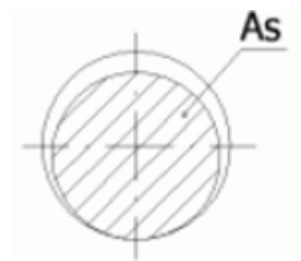
Průměry závitů

$$d = 8 \text{ [mm]}$$

$$d_1 = 6,647 \text{ [mm]}$$

$$d_2 = 7,188 \text{ [mm]}$$

$$d_3 = 6,466 \text{ [mm]}$$



Obr. 7.1. Plocha šroubu [5]

Plocha šroubu

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_s}{2} \right)^2 \quad [5] \quad (7.6)$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{7,188 + 6,466}{2} \right)^2$$

$$A_s = 36,606 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_s = \frac{F}{\sigma_D} \Rightarrow \sigma_D \geq \frac{F}{A_s} \quad [3] \quad (7.7)$$

$$\sigma_D \geq \frac{54,3}{36,606}$$

$$\sigma_D > 1,4 \text{ [MPa]}$$

25,4 > 1,4 => podmínka vyhovuje

$$F = \frac{m_{su} \cdot g}{n_s} \quad [3] \quad (7.8)$$

$$F = \frac{38,8 \cdot 9,81}{7}$$

$$F = 54,3 \text{ [N]}$$

kde:

F – osová síla v šroubu [N]

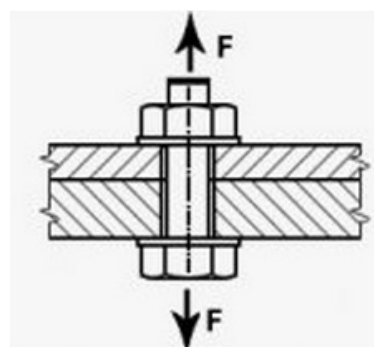
m_{su} – hmotnost sestavy uzávěru

$m_{su} \approx 38,8 \text{ [kg]}$

g – tíhové zrychlení [m/s^2]

n_s – počet šroubů

$n_s = 7 \text{ [-]}$



Obr. 7.2. Zatížení šroubu [5]

7.4. Kontrola šroubu M20 ISO 4015

Materiál šroubu

11 500

Mez kluzu

$$R_e = 245 \text{ [MPa]} \quad [3]$$

Dovolené napětí

$$\sigma_D = 0,1 \cdot R_s \quad [3] \quad (7.9)$$

$$\sigma_D = 0,1 \cdot 245$$

$$\sigma_D = 24,5 \text{ [MPa]}$$

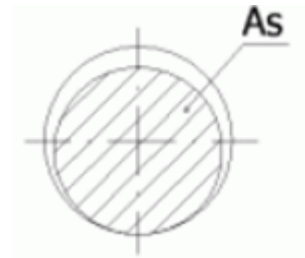
Průměry závitů

$$d = 20 \text{ [mm]}$$

$$d_1 = 17,294 \text{ [mm]}$$

$$d_2 = 18,376 \text{ [mm]}$$

$$d_3 = 16,933 \text{ [mm]}$$



Obr. 7.3. Plocha šroubu [5]

Plocha šroubu

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad [5] \quad (7.10)$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{18,376 + 16,933}{2} \right)^2$$

$$A_s = 244,8 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_s = \frac{F}{\sigma_D} \Rightarrow \sigma_D \geq \frac{F}{A_s} \quad [3] \quad (7.11)$$

$$\sigma_D \geq \frac{579,3}{244,8}$$

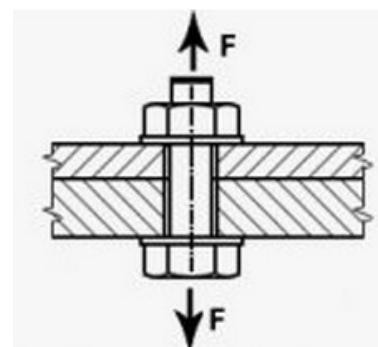
$$\sigma_D > 2,4 \text{ [MPa]}$$

25,4 > 2,4 => podmínka vyhovuje

$$F = \frac{m_s \cdot g}{n_s} + F_1 \quad [3] \quad (7.12)$$

$$F = \frac{67,5 \cdot 9,81}{8} + 497,9$$

$$F = 580,6 \text{ [N]}$$



Obr. 7.4. Zatížení šroubu [5]

kde:

F – osová síla v šroubu [N]

m_s – hmotnost sestavy

$m_s \approx 67,5$ [kg]

g – tíhové zrychlení [m/s^2]

n_s – počet šroubů

$n_s = 8$ [-]

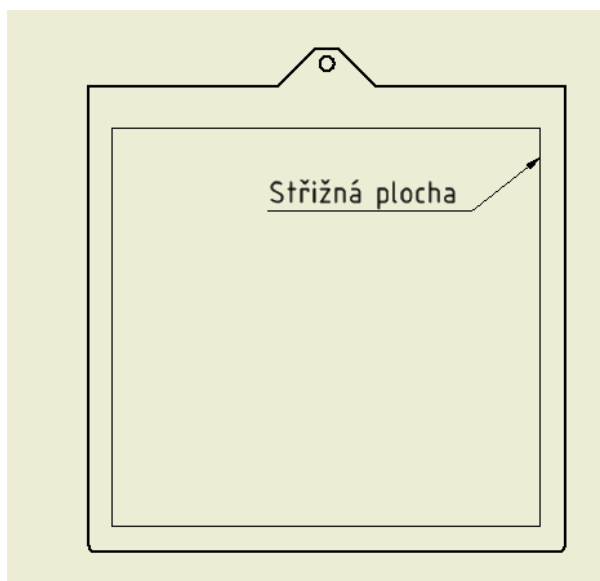
7.5. Kontrola na stříh horní desky uzávěru

Střižná plocha

$$S = (a+c) \cdot 2 \cdot t \quad [3] \quad (7.13)$$

$$S = (0,35+0,325) \cdot 2 \cdot 0,005$$

$$S = \mathbf{0,006 \text{ [m}^2\text{]}}$$



Obr. 7.5. Střižná plocha

$$\tau_s = \frac{F_s}{S} \leq \tau_{DS} \quad [3] \quad (7.14)$$

$$\tau_s = \frac{497,9}{0,006}$$

$$\tau_s = \mathbf{0,083 \text{ [MPa]}}$$

Dovolené napětí

$$\tau_{DS} = \frac{R_e}{k_s} \quad [5] \quad (7.15)$$

$$\tau_{DS} = \frac{250}{2}$$

$$\tau_{DS} = 125 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{DS} \geq \tau_s$$

$$\underline{125 > 0,038 \Rightarrow \text{podmínka vyhovuje}}$$

kde:

R_e - modul pružnosti nerezů

$$R_e = 250 \text{ [MPa]} \quad [4]$$

$k_s = (2 \div 3)$ - statická bezpečnost

$$k_s = 2 \text{ [-]} - \text{zvoleno} \quad [3]$$

7.6. Kontrola na otláčení v místě vedení horní desky uzávěru

$$p = \frac{F_1}{S_p} \leq p_D \quad [3] \quad (7.16)$$

$$p = \frac{497,9}{30180}$$

$$p = 0,016 \text{ [MPa]}$$

$$\underline{90 > 0,016 \Rightarrow \text{podmínka vyhovuje}}$$

kde:

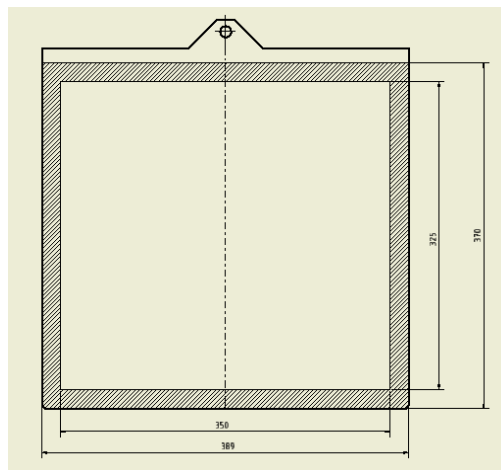
p_D - dovolený tlak [MPa]

$$p_D = 90 \text{ [MPa]} - \text{zvoleno} \quad [3]$$

S_p - Otláčená plocha [mm²]

$$S_p = (370 \cdot 389) - (350 \cdot 325)$$

$$S_p = 30180 \text{ [mm}^2\text{]}$$



Obr. 7.6. Otláčená plocha

Závěr

Předložená bakalářská práce se zabývá návrhem těsnícího uzávěru zásobníku. V rámci vypracování bakalářské práce byl stanoven cíl navrhnout vhodný uzávěr zásobníku tak, aby navržené řešení odpovídalo prostorovým možnostem a požadovanými vlastnostmi. Vstupními parametry byla velikost zásobníku a skladovaný materiál, kterým byly dřevěné pelety.

V úvodní části této bakalářské práce se věnuji stručnému popisu zásobníků a uzávěrů, přičemž je zde uvedeno jejich rozdělení a druhy. V další části se zabývám rozbořem mechanicko – fyzikálních vlastností dřevěných pelet (úhel vnitřního a vnějšího tření, sypná hmotnost, sypný úhel a tvar částic) .

V následujících částech se snažím posuzovat jednotlivé varianty řešení a vybírám ty, které se jeví jako nejvhodnější a nejvíce přijatelné varianty. Jako nejvhodnější variantu jsem volil šoupátková uzávěr se dvěma různými deskami, přičemž spodní deska je sendvičová, aby byla schopna absorbovat co největší množství tepla vycházející z technologie pod uzávěrem. Horní deska bude vyrobena z nerezového plechu.

Ve výpočtové části jsem počítal potřebné síly pro vytažení každé desky zvlášť. Mezi dalšími výpočty byla kontrola šroubů, které spojují přírubu zásobníku s přírubou uzávěru. Po té následovala kontrola horní desky na střih a na otláčení.

Součástí této bakalářské práce je i příslušná výkresová dokumentace popisující řešení těsnícího uzávěru zásobníku.

Seznam použité literatury

- [1] Polák, J., Slíva, A., Dopravní a manipulační zařízení III. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010, ISBN 978-80-248-0963-2
- [2] Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A., Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001, ISBN 80-248-0043-8
- [3] Leinveber, J., Vávra, P., Strojnické tabulky (čtvrté doplňkové vydání). Albra, Úvaly, 2008, ISBN 978-80-7361-051-7
- [4] Korozivzdorná ocel-nerez, nerezové plechy, [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z : <http://www.alfun.cz/sortiment/ocel/korozivzdorna-ocel-nerez>
- [5] Zelený, J., Stavba strojů strojní součásti. Computer press a.s., Brno, 2003, ISBN 80-7226-311-0
- [6] www.has.cz/produkty/uazvirani-toku-sypkych-materialu/
- [7] www.kesner.cz
- [8] www.martech.cz/documents/bc.pdf
- [9] http://www.fluidbohemia.cz/resources/upload/data/20_Lucaval_M08_CZ_120805.pdf
- [10] <http://woehwa.com/dosierflachschieber.asp?lang=cz>